

第六周期中的 Cs、Hf、Ta、W、Re、Pt、Au、Hg、Tl、Pb、Bi 以及镧系元素中的 La、Ce、Tb、Ho、Tm、Yb；第七周期锕系元素中的 Th 和 U。

本文承复旦大学俞誉福老师审阅，特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Alimarin, I. P. et al., *Bunseki Kagaku*, **31** (7), E 213 (1982).
- [2] Kudo, K. et al., *J. Radioanal. Chem.*, **59**(2), 605 (1980).
- [3] Shamaev, V. I., *J. Anal. Chem. (USSR)*, **22**, 1103 (1967).
- [4] Klas, J. et al., *Radiochem. Radioanal. Letters*, **18** (2), 83 (1974).
- [5] Kudo, K. et al., *J. Radioanal. Chem.*, **26**(2), 327 (1975).
- [6] Mitchell, J. W., *Radiochem. Radioanal. Letters*, **24**(2), 123 (1976).
- [7] Kambara, T., *Chem. Lett.*, (9), 927 (1975).
- [8] Kanda, Y. et al., *Radiochem. Radioanal. Letters*, **37**(4—5), 183 (1979).
- [9] Obrušnik, I. et al., *Talanta*, **15** (7), 433 (1968).
- [10] Yakovlev, Yu. V. et al., *J. Anal. Chem. (USSR)*, **25**, 496 (1970).
- [11] Kanda, Y. et al., *Anal. Chem.*, **52**(11), 1672 (1980).
- [12] Imura, H. et al., *Talanta*, **28** (2), 73 (1981).
- [13] Imura, H. et al., *Anal. Chem.*, **55** (7), 1107 (1983).
- [14] Genova, N., *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **34** (4), 757 (1983).
- [15] Golubtsov, I. V. et al., *J. Anal. Chem. (USSR)*, **30**, 986 (1975).
- [16] Akaiwa, H. et al., *Talanta*, **24** (6), 394 (1977).
- [17] Das, H. A. et al., *J. Radioanal. Chem.*, **25**(2), 261 (1975).
- [18] Wals, G. D. et al., *Radiochem. Radioanal. Letters*, **26** (5—6), 353 (1976).
- [19] Kanda, Y. et al., *J. Radioanal. Chem.*, **54** (1—2), 7 (1979).
- [20] Adamek, A. et al., *J. Radioanal. Chem.*, **26** (1), 51 (1975).
- [21] Tölgyessy, J. et al., *Radiochem. Radioanal. Letters*, **20**(2), 159 (1975).
- [22] Kudo, K. et al., *J. Radioanal. Chem.*, **53**(1—2), 163 (1979).
- [23] 陆兆达等：核化学与放射化学，**4**(3)，191 (1982)
- [24] Yu Yu-fu et al., *Radiochem. Radioanal. Letters*, **51** (2), 103 (1982).
- [25] Suzuki, N. et al., *Analytica. Chim. Acta*, **129** (1), 221 (1981).
- [26] Toshio, S. et al., *Nippon. Kagaku. Kaishi*, **1** (1), 103 (1981).
- [27] Kobayashi, K. et al., *J. Radioanal. Chem.*, **46**, 265 (1978).
- [28] Halder, B. C. et al., *J. Radioanal. Chem.*, **33** (1), 23 (1976).
- [29] Zimakov, I. E., *Acta. Vet. Acad. Sci. Hung.*, **26**(1), 65 (1976).

系统仿真方法在城市生态系统研究中的应用

赵彤润 聂桂生 秦大唐

(北京市环境保护科学研究所)

当前，城市生态系统的研究受到国际上普遍重视。据联合国有关组织的统计，现在全球有 40% 的人生活在城市中，预计 2000 年时全球将有 50% 的人生活在城市。大量的人口集中在城市狭小的地区引起的一系列的环境问题，使城市生态系统的研究变得更为迫切。

联合国教科文组织于 1971 年发起了“人与生物圈计划”（简称 MAB），其目的是强调

用生态学的方法来研究人与环境之间的相互关系。城市生态系统的研究是其十四项计划中的第十一项，并列为 1984—1985 年度四项重点计划之一。

一、城市生态系统的系统学特点及其研究方法

城市生态系统是一种典型的人工生态系统，是人类对自然环境适应、加工、改造过程

中建立起的特殊生态系统。有的文献称之为社会-经济-自然复合生态系统。与其它生态系统相比,其多样性最高,受人工干扰最强。城市生态系统做为一个系统,在系统学上有如下特点:(1)边界模糊,因素众多;(2)具有多反馈环;(3)属于非线性系统;(4)各元重之间具有复杂的相互依赖关系;(5)原因与结果在时间上与空间上常常是分离的;(6)具有反直观性;(7)对外界干扰的反映常呈顽固的迟钝性。由于这些特点使得城市生态系统成为结构复杂、功能综合的庞大系统,在研究方法和理论上就存在着许多困难。

MAB 关于城市生态系统研究的技术报告中特别强调以下几点:

- (1) 强调综合观测和仿真模型的研究;
- (2) 强调能流、物流、信息流,以及能量物质的输入输出的分析研究;
- (3) 强调系统内部各个部分,以及各个因素之间相互作用、相互影响的研究;
- (4) 提倡研究者与决策者进行协调与合作。

有些文献指出,城市生态系统与有机体相类似,可从两个角度进行分析研究:一是暴露它的结构(解剖学);二是揭示它的运转情况(生理学)。换句话说,就是要从空间和时间两个方面进行研究。

对城市生态系统这样复杂的系统来说,用传统的数学方法进行研究是很困难的。首先是数学模型难以建立;其次是即使能够建立数学模型,也会因其高维高阶而难以求解。而仿真模型的方法却为解决这类问题提供了有效的手段。

二、系统动力学的适应性

系统动力学(System Dynamics 缩写 SD)是一种连续型仿真模型。它具有:

- (1) 动态性 它强调系统是在不断发展变化,它就是在系统的动态变化中,跟踪和模拟系统的发展变化趋势。

- (2) 反馈性 它强调系统内部的各种因素的相互依赖关系,在系统内部存在着多重反馈环,相互影响相互制约。

- (3) 整体性 它的基本出发点是强调“整体大于部分之和”,对于一个复杂的大系统,任何个别部分和个别因素的研究只能得到片面的认识,而它是从整体上研究系统综合效应。

因此,SD 适用于多反馈大系统的模拟研究。有人把 SD 称为战略和策略的实验,即可以象在实验室里做实验一样,把各种策略方案通过计算机模拟,并对其结果进行比较,得到较好的方案,避免较大的失误。

应当强调的是,与传统预测方法不同,SD 着重研究系统内部结构,模拟其行为的动态变化,达到跟踪系统对各种策略的响应,以定量的形式给出发展趋势。

三、北京城市生态系统仿真模型的建立

利用 SD 的方法建立仿真模型的过程是对实际系统识别-抽象-组织-再识别的多次反复的过程。下面以北京城市生态系统仿真模型的建立过程为例,说明城市生态系统 SD 模型的建立方法。

1. 建立北京城市生态系统模型的工作基础及目标

多年来,北京的环境保护、城市规划、城市管理部门对北京的城市发展及存在的问题进行了大量的研究。北京城市生态系统仿真模型就是在这些研究成果的基础上建立起来的。这些成果为识别北京城市生态系统的行为及存在的问题,抽象系统的构造与变量间的关系提供了理论和主要信息。

北京作为一个城市,追求的目标是多种多样的,但一个城市生态系统仿真模型同时追求满足各种人需要的目标是很困难的。我们在建立北京城市生态系统模型时,追求的总目标是,在满足北京作为全国政治中心、国际交往中心的前提下,城市的各项活动(生

活、经济、文化、服务等等) 如何发展, 才能保持城市生态系统的和谐, 以维持城市持久的发展。

2. 系统的描述及系统边界的确定

数学仿真模型属于广泛的抽象模型, 这些模型包括思维的想象, 文字描述, 行为准则与法定规范。建立北京城市生态系统仿真模型是为了依靠思维过程处理时变系统来构筑计算机可跟踪的模型。系统的描述是为了帮助(或记录)思维, 把行为的准则与法定规范性地描述出来, 以成为建立模型过程中追求目标的准则, 北京城市生态系统描述的内容有:

(1) 城市一般状况的描述包括北京城市发展史; 城市性质与规模; 自然环境特征; 社会、经济活动特点; 空间分布特征; 外界系统对北京的影响等。

(2) 系统动力学描述包括决定北京城市生态系统行为状态的主要因素(如人口、工业、污染、政治、文教、服务业等)变化状态; 系统内的主要物流、信息流特征; 模型计算起始年系统所处的状态; 系统变化的动力等等。

北京城市生态系统的 SD 模型是在一个很大范围的社会系统中抽取出来的, 因此在构筑 SD 模型时要确定系统的边界。构筑模型的行为取决于边界内的因素。边界过小不能代表系统的整体。边界过大, 使模型的清晰度差。在研究城市生态系统模型时应考虑在两个方面明确系统的边界:

①地域边界 作为一个城市有行政管辖范围、规划市区、建成区等, 北京城市生态系统仿真研究选择了城市活动典型的规划市区为系统的边界。

②问题边界 面对不同的问题, 可以选择不同的状态来反映系统不同行为的变化。北京城市生态系统仿真模型选择了两个不同的边界, 构筑了两个模型:

模型之一, 以人类的城市场活动对城市生态质量的影响为系统研究的问题。

模型之二, 以人类活动中产生的对环境有害的物质对城市生态质量的影响, 及这些物质产生、流动、消除的过程为系统研究的主要问题。

3. 变量选择

面对模型所研究的问题, 在边界内选择适当的变量是很关键的一步, 变量选择的优劣决定了模型的可信性和有效性。北京城市生态系统仿真模型变量选择的原则是: (1) 能体现系统总目标的变量; (2) 能说明所要研究的问题的变量; (3) 能促进系统内物质、信息流动的变量; (4) 能体现系统发展的准则和法规的变量。

为了避免选择变量时主观片面性, 采用了专家调查的办法。北京城市生态系统模型在建立过程中共请了 49 位专家, 经过二轮的专家调查, 最后确定了 163 个变量, 共分六个变量子系统: 人口及生活、工业活动、城市服务活动、政治文教活动、土地利用、环境污染。

4. 因果关系分析与流图设计

因果关系分析是系统描述到流图的桥梁, 它能帮助数学工作者熟悉所研究的系统, 帮助城市生态学家了解 SD 的技巧, 也就是因果关系分析是数学工作者同城市生态学家对话的基础。

因果关系分析是判断确定的变量两者之间是否存在因果关系。例如污染与工业经济的反馈关系(图 1)。当工业固定资产增多, 工业产值就提高, 工业污染加剧, 用水增多,

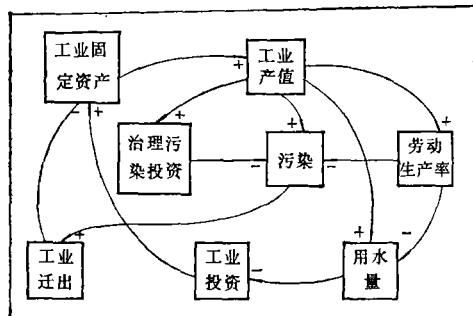


图 1 污染与工业经济的反馈关系

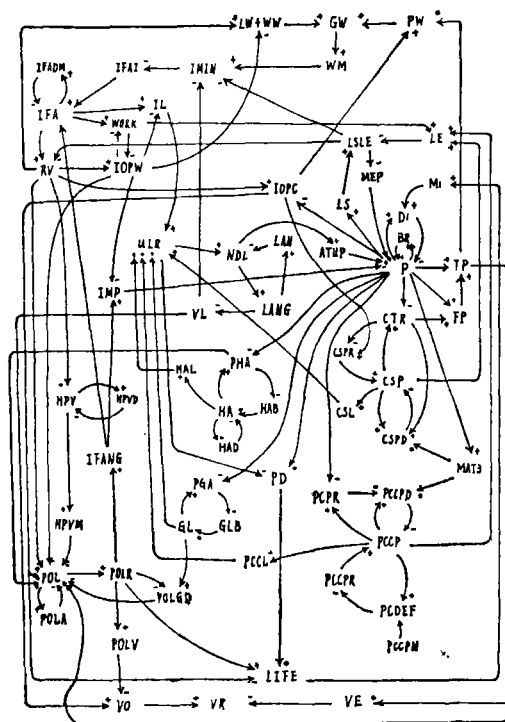


图 2 仿真模型的因果关系

P 全部常住人口 BR 年出生人数 IFANG 工业固定资本的迁出 D_i 各年龄组的年死亡人数 RV 实际工业产值 M_i 各年龄组的死亡率 LW 轻工业用水量 TP 全部人口 WW 重工业用水量 MEP 年机械增长人数 PW 生活用水量 LS 劳力供应 GW 总用水量 LSLE 劳力供求比例 MN 水约束乘子 LIFE 寿命因子 IMIN 工业投资约束因子 POLR 污染率 IOPC 人均工业产值 POL 污染量 IOPW 劳动生产率 POLA 污染吸收率 WORK 工业职工 POLGD 绿地对污染降解量 IMP 随工业迁出的人口 HPV 治理污染资产 LE 劳力需求 HPVD 治理污染资产折旧 CSP 城市服务业人员 HPVM 治理污染资产消除污染 CTR 城市服务人员占常住人口比例 IFA 工业固定资产 CSPR 服务人员增长率 IFADM 工业折旧 CSPD 服务人员退休率 IFAI 工业年投资 FP 流动人口 PCCP 政府机关科研高教文化人员 CSL 城市服务业占地 PCCPR 政治文化人员增长率 PCCL 政治文化占地 PCDEF 政治文化人员差距 IL 工业占地 PCCPN 政治文化人员期望值 ULR 城市用地需求量 PCCPD 政治文化人员退休率 LAN 城市实际占地 PCPR 政治文化人员占比例 NDL 新开发土地 HA 居住面积 LANG 城市占地增长率 HAB 住房建设速度 VL 菜地 HAD 住房折旧 ATUP 农转非人口 HAL 居住区占地 VO 菜产量 PHA 人均居住面积 POLV 污染对蔬菜的影响 GL 绿地面积 VE 蔬菜需求量 GLB 绿地建设率 VR 蔬菜自给率 PGA 人均绿地面积 PD 人口密度

迫使工业迁出,限制工业投资,又制约了工业固定资产的增加。另一方面工业产值提高,治理污染的投资增加,同时也促进了劳动生产率的提高,工业企业的技术不断提高,促使污染减轻,需水量减少,又能促进工业固定资产的增加。这部分共有两个正反馈环,三个负反馈环。

图 2 是北京城市生态系统仿真模型的因果关系图。其中共有 50 个反馈环,26 个负环和 24 个正环。

根据系统的变量集和因果关系图,设计系统仿真模型的流程图(见图 3)。系统的变量分为三大类:

(1) 首先,确定反映系统行为所处状态的累积变量。

(2) 确定体现系统状态变化速度的流速变量,是系统决策政策的陈述。

(3) 通常把流速变量细分成若干部分,增强其清晰度和辅助意义,这些分支称为辅助变量,它是累积变量与流速变量之间的信息通道。

北京城市生态系统仿真模型中的 163 个变量中有 13 个累积变量、27 个流速变量、4 个延迟函数、87 个辅助变量、32 个参数。

设计流图的第二步就是沟通系统的物流与信息流,建立函数关系。这是比较困难的一步需要大量的情报信息,并取决于建立模型者对系统的认识程度,往往要研究一些新问题。可以说每一个函数关系都是一个研究课题。

根据已确定的函数关系,利用 DYNAMO 语言编写计算机程序并不困难。

5. 历史验证与灵敏度分析

为了考验模型是否合理,我们对北京 1950—1980 年的情况,用模型进行了回顾验证,并与历史统计数据相对照。计算结果与历史发展变化趋势基本一致(图 4)。

灵敏度分析是为了找出模型的敏感因子,在北京城市生态系统仿真模型中,是采用

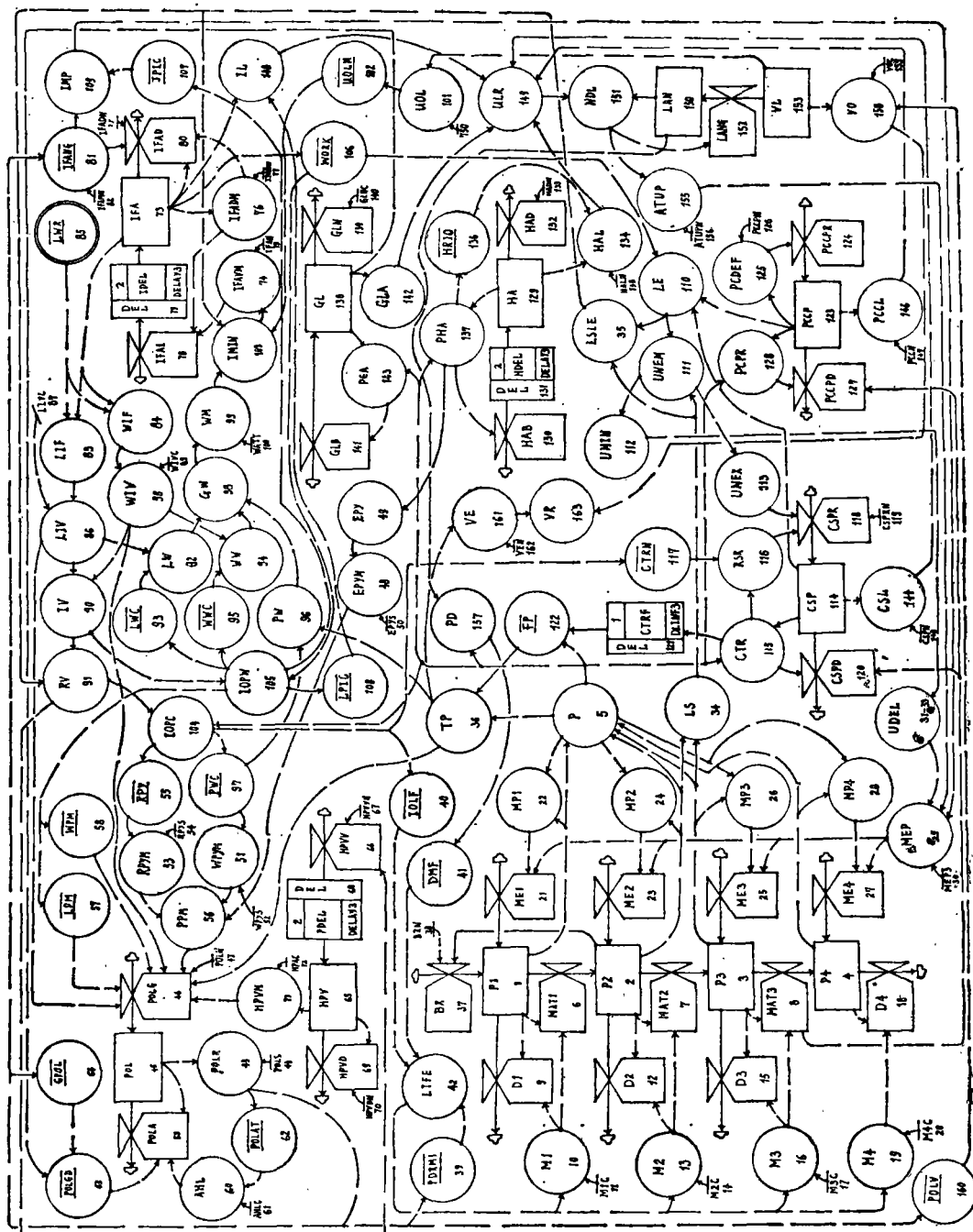


图 3 仿真模型流程

两阶段分析的。第一阶段,改变主动变量,寻找反应最大的被动变量和对系统行为影响最大的主动变量。第二阶段,对主要变量采用正交设计的方法在模型上做实验,其结果进行方差分析找出敏感性变量。本模型的敏感变量有五个:工业迁出、工业折旧、工业投资、工业投资与工业迁出的交互作用,工业迁出与城市服务业占地的交互作用。

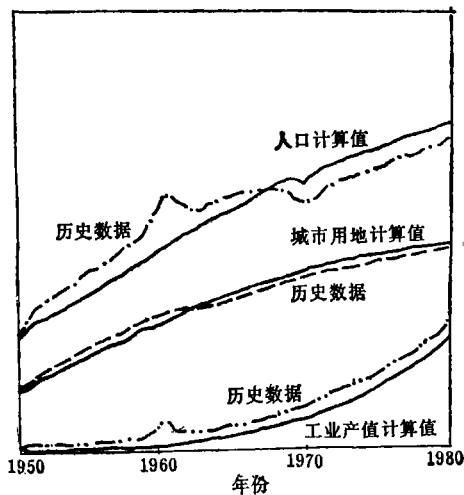


图4 回顾验证

四、策略分析

所谓策略分析,就是改变系统的现行规律,输入实验者的拟定策略,利用计算机跟踪系统的动态变化。这里所介绍的策略分析是根据北京市的总体规划设计策略。

1. 原始运行(图5)

原始运行就是按现状(例如1980—1982年)的规律发展下去,2000年时北京规划市区内的城市人口,城市占地都将大大超过总体规划中所限制的数据,城市污染更加严重,而城市绿色空间却减少了。

2. 总体规划方案(图6)

由于严格控制人口,人口高峰与污染高峰值都有所降低,并提前出现下降趋势。城市占地很快趋于平衡,而绿色空间有很大的

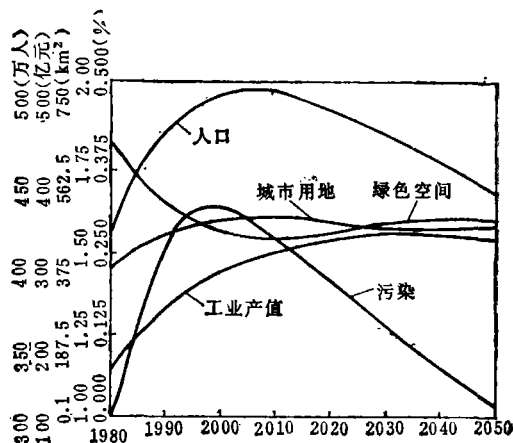


图5 原始运行

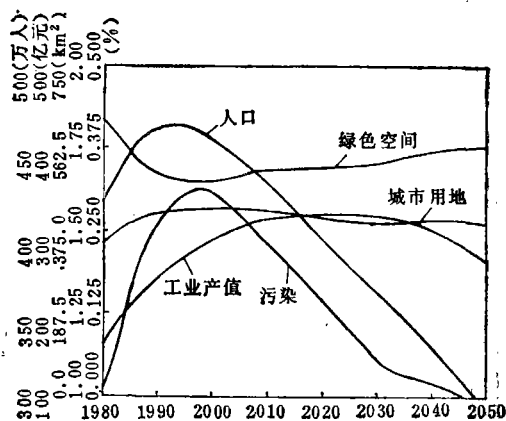


图6 总体规划方案

增加,整个情况优于原始运行。

此外还可以利用模型追求系统的战略目标,进行城市生态系统的规划设计。

策略分析与规划设计最好能与决策者共同研究,使结果更有实用价值。北京城市生态系统仿真模型为北京城市研究提供了一个实验室,真正的研究工作,还在于此后的决策分析和规划设计。

参 考 文 献

- [1] Stearns, F. and Montay, T., *The Urban Eco system*, Dowden, Hutchinson, Ross, Inc 1974.
- [2] Garden, G., *System Simulation* Prentice Hall, 1978.
- [3] Forester, J., *Principles of Systems*, Wright-

- Allen Press, 1968.
 [4] Forester, J., *World Dynamics*, Wright-Allen Press, 1971.
 [5] Meadows, D., *Dynamics of Growth in a Fi-*

nite World, Wright-Allen Press, 1972.

- [6] Meadows, D. et al., *The Limits to Growth* Wright-Allen Press, 1972.
 [7] UNESCO-MAB Programme, 5, 10(1981).

半集均方差水质评价模式

徐 鸿 楷

(青岛市环境保护科学研究所)

本文根据数理统计的基本概念,结合水质参数各自对水环境质量的影响,建立了半集均方差模式,并通过地面水质评价的应用进行了检验。

一、综合数学模式的简介

在水质评价中,国内外已提出十余种由水质参数的分指数 P_i 综合为水质指数 WQI 的数学模式。鲍尔顿 (Bolton) 等^[1] 对国外前期的部分模式做了归纳(表 1)。八十年代以来,我国的环境评价工作者对综合数学模式进行了较广泛的研究,做了有益的探索。现将国内外较典型的综合数学模式列入

表 2。

表 1 水质指数 WQI 公式

名 称	WQI 公 式	
	均权	加权
算术指数	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$	$\sum_{i=1}^n W_i P_i$
苏尔维指数	$\frac{1}{100} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \right)^2$	$\frac{1}{100} \left(\sum_{i=1}^n W_i P_i \right)^2$
几何指数	$\left(\prod_{i=1}^n P_i \right)^{1/n}$	$\prod_{i=1}^n P_i^{W_i}$

在表 1、2 中:

P_i ——水质参数 i 的分指数;

表 2 水质指数 WQI 公式

名 称	WQI 公 式	提 出 者	年 代	文 献 号
内梅罗模式	$\sqrt{\frac{(P_i)_{\max}^2 + \bar{P}^2}{2}}$	N. L. Nemerow	1974	[2]
几何均数模式	$\sqrt{(P_i)_{\max} \cdot \bar{P}}$	姚志麒	1980*	[3]
统计模式	$\left\{ \begin{array}{l} E(P_i) \triangleq \sum_{i=1}^n W_i P_i \\ \sigma^2 \end{array} \right.$	熊广政 裘小松	1980	[4]
向量模式	$\sqrt{\sum_{i=1}^n P_i^2}$	申葆诚 徐国义	1981	[5]
模糊数学模式	$\begin{array}{c} AOR \\ (\text{模糊矩阵复合运算}) \end{array}$	容跃 金键	1982	[6]
标准二阶矩模式	$\sqrt{\bar{P}^2 + \sigma^2}$	张益智	1983	[7]

* 该模式于 1979 年见报道,用于大气质量评价,1980 年引入水质评价。